

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Cálculo y desarrollo de la estructura de un edificio de viviendas en Pamplona



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Autor: Claudia Herce Oroz

Director: José Javier Lumbreras Azanza

Pamplona, 23 de Junio de 2017



RESUMEN

En este trabajo Final de Grado se desarrolla el proyecto de la estructura de un edificio de viviendas con ayuda del programa informático de cálculo de estructuras CYPE.

El edificio está situado en el en el barrio de Pamplona, Soto de Lezkairu.

Se exponen los criterios adoptados y la metodología llevada a cabo para el diseño de la estructura, así como se justifica la solución propuesta.

El proyecto también incluye la explicación del proceso de cálculo llevado a cabo con el programa CYPE, más concretamente con su módulo de estructuras de hormigón, CYPECAD.

Se ha considerado desde la preparación de datos, definiciones geométricas de la estructura y opciones de cálculo, hasta los resultados obtenidos, comprobaciones, revisiones y actualizaciones.

Se explica el proceso de elaboración de la documentación del proyecto que se incluye en los anejos, es decir los planos, la memoria de cálculo y el presupuesto.

Para finalizar, se exponen las conclusiones, explicando los problemas surgidos a lo largo del proyecto y una valoración final de los conocimientos adquiridos.

ABSTRACT

The main point of this end-of-degree project is the calculation and execution of the fabric of a residential building using the software CYPE.

The location of the building is the town called Soto de Lezkairu, in Pamplona.

This project will contain the followed approach in calculating and the methodology, as well as the selected solution, which will be justified.

It also includes the explanation of the calculation process with CYPE, more precisely, with its concrete module, CYPECAD.

From the development of the data, geometrical definition and calculation options, until results achieved, verifications, reviews and updates have been considered.

Finally, conclusions will be stated, explaining the problems occurred during the project.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a mi tutor, Javier, por todo el apoyo que me ha dado y por su disponibilidad absoluta, así como por los cursos de CYPE que imparte de manera desinteresada y a los que he tenido la suerte de poder asistir.

También les quiero agradecer a todos mis amigos, a mi kuadrilla de la ikas, por su puesto, por que esta carrera se les ha hecho más larga a ellos que a mí, a mis amigos de Arquitectura que se han ofrecido a ayudarme en todo lo que pudieran (Milesker Eider!) y, en especial, a las Ingies, por que llegué más tarde y como quien no quiere la cosa y ahora no sé qué haría sin ellas.

Tampoco puedo dejar de mencionar a Josu, que desde el principio y durante mucho tiempo fue mi apoyo incondicional en este camino y la persona que me animó a no tener miedo y hacer lo que quería hacer.

Por último, pero la más importante de todas, quiero agradecerles a mis aitas su apoyo continuo y su confianza en mí, por haber aceptado que hace seis años me liara la manta a la cabeza, dejara Arquitectura y me metiera en esta carrera que tantos sentimientos encontrados nos ha provocado.

Milesker.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE	5
Índice de tablas	7
Índice de figuras	7
1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Objetivos del TFG	9
1.2 Descripción del edificio	9
1.2.1 Emplazamiento	9
1.2.2 Características de la edificación	10
1.3 Metodología de trabajo	14
2 BASES DEL CÁLCULO	15
2.1 Normativa	15
2.2 Ambiente	15
2.2.1 Clase general de exposición	15
2.3 Materiales a utilizar	16
2.3.1 Elementos estructurales de hormigón	16
2.3.2 Elementos estructurales de acero	16
2.4 Criterios y condicionantes	17
2.4.1 Condicionantes de diseño estructural	17
2.5 Acciones adoptadas en el cálculo	19
2.5.1 Cargas superficiales	19
2.5.1.1 Cargas superficiales permanentes	19
2.5.1.2 Cargas superficiales variables	21
2.5.2 Cargas lineales	22
2.5.2.1 Muros	22
2.5.2.2 Escaleras	23
2.5.2.3 Losas	23
2.5.2.4 Casetones	24
2.5.3 Cargas puntuales	25
2.5.4 Resto de cargas	25
2.5.4.1 Viento	25
2.5.4.2 Sismo	26

2.5.5 Combinaciones	26
2.5.5.1 Estados límite últimos	26
2.5.5.2 Estados límites de servicios	26
2.6 Solución estructural adoptada	28
3 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA	31
3.1 Cimentación	31
3.2 Estructura vertical	33
3.2.1 Muros de sótano	33
3.2.2 Muros ménsula	34
3.2.3 Pilares	35
3.3 Vigas	36
3.4 Forjados	38
3.4.1 Losa de hormigón	38
3.4.2 Forjado de viguetas	39
3.5 Escaleras	41
4 CÁLCULOS Y COMPARACIONES	43
4.1 Cálculo de estabilidad del muro ménsula	43
4.2 Cálculo del armado transversal de las vigas en L	46
4.2.1 Cálculos según la EHE-08	47
4.2.1.1 Cálculo para flexión según el Anejo 7	47
4.2.1.2. Cálculo para el cortante	48
4.2.1.3 Segundo cálculo para flexión según el Anejo 7	48
4.2.1.2. Segundo cálculo para el cortante	49
4.2.2 Cálculo para esfuerzo rasante según Jimenez Montoya	50
4.2.3 Valoración de las comparaciones	51
5 CONCLUSIONES	53
5.1 Relativas a la definición de la solución estructural	53
5.2 Relativas a la utilización de CYPE	55
6 BIBLIOGRAFÍA	57
6.1 Normativa	57
6.2 Recursos de las asignaturas del grado	57
6.3 Recursos webs	57
6.4 Recursos bibliográficos	58

Índice de tablas

TABLA 1. RELACIÓN DE SUPERFICIES	13
TABLA 2. CARGAS MUERTAS SUPERFICIALES	20
TABLA 3. CARGAS LINEALES DE MUROS	22
TABLA 4. CARGAS ESCALERAS ÁTICO	23
TABLA 5. CARGAS LINEALES DE LOSA	24
TABLA 6. CARGAS LINEALES DE CASETONES	25
TABLA 7. PRIMER CÁLCULO ESTABILIDAD MURO MÉNSULA	44
TABLA 8. SEGUNDO CÁLCULO ESTABILIDAD MURO MÉNSULA	45
Tabla. 9. CARGAS SOBRE VIGA EN L	46

Índice de figuras

FIG. 1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO EN PAMPLONA.	9
FIG. 2. DETALLE DE PARCELA	10
FIG. 3. PLANTA SÓTANO	11
FIG. 4. PLANTA BAJA	11
FIG. 5. PLANTA TIPO	12
FIG. 6 PLANTA SEGUNDA ÁTICO	12
FIG. 7. RAMPA DE SÓTANO	17
FIG. 8. ZONA SALA DE ESTAR Y TERRAZA	18
FIG. 9. HUECOS DE ASCENSORES	18
FIG. 10. RELACIÓN DE TAMAÑOS HUECO ASCENSOR (KONE)	19
FIG. 11. ESCALERAS ÁTICO	23
FIG. 12. CASETONES	25
FIG. 13. VISTA 3D GENERAL DEL EDIFICIO EN CYPE	29
FIG. 14. ESQUEMA ZAPATA AISLADA	31
FIG. 15. ESQUEMA ZAPATA CORRIDA	32
FIG. 16. MURO DE SÓTANO	33
FIG. 17. UNIÓN MURO DE SÓTANO Y FORJADO DE VIGUETAS	33
FIG. 18. MURO MÉNSULA	34
FIG. 19. JUNTA DE DILATACIÓN ENTRE MUROS	34
FIG. 20. PLANO DE REPLANTEO DE PILARES CON LOS PUNTOS DE CRECIMIENTO	35

FIG. 21. ESQUEMA VIGA HUECOS	37
FIG. 22. ESQUEMA DE VIGAS EN L Y LOSA	37
FIG. 23. FICHA TÉCNICA PLACA ALVEOLAR CYPE	39
FIG. 24. FICHA TÉCNICA FORJADO DE VIGUETAS	39
FIG. 25. DISPOSICIONES FORJADO DE VIGUETAS	40
FIG. 26. ESQUEMA MURO MÉNSULA	44
FIG. 27. ESQUEMA DE SECCIÓN DE VIGA EN L	46
FIG. 28. ESQUEMA DE SECCIÓN DE VIGA EN L	49
FIG. 29. FOTO DEL EDIFICIO DE REFERENCIA	53
FIG. 30. SALA DE ESTAR EDIFICIO REFERENCIA	54

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del TFG

El objetivo de este Trabajo Final de Grado es el diseño, cálculo y proyecto de un edificio de viviendas.

Se han realizado los cálculos y planos necesarios para definir la estructura principal del edificio en hormigón.

Por otro lado, otro objetivo es poder aplicar las competencias adquiridas durante el Grado de Ingeniería Mecánica y aprender a como llevarlas a la práctica profesional.

1.2 Descripción del edificio

1.2.1 Emplazamiento

El edificio se encuentra en el barrio Soto de Lezkairu en la localidad de Pamplona, ocupa toda una manzana, la cual está rodeada de las calles Soto de Lezkairu, José Manuel Baena Martín, Joaquín Imaz Martínez y avenida Juan Pablo II, siendo ésta a la que dará la calle principal.

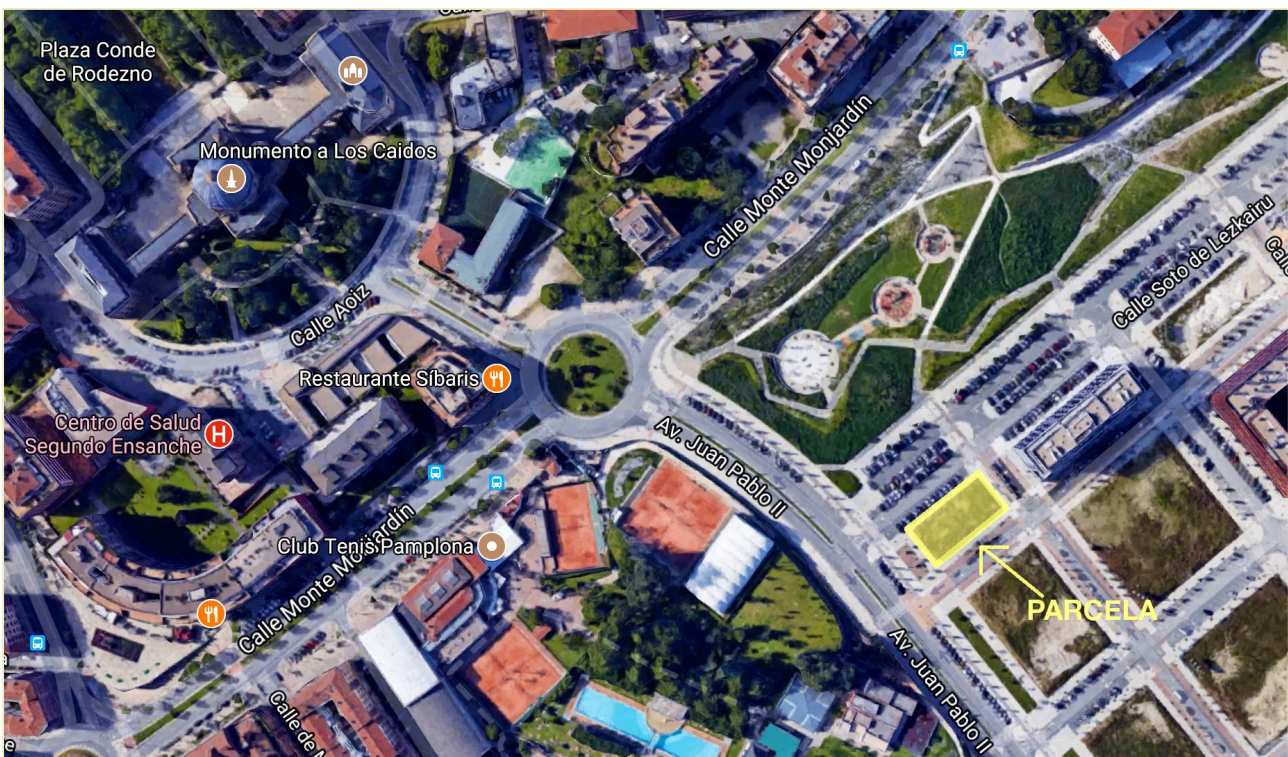


FIG. 1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO EN PAMPLONA.

La superficie de la parcela es de 20 m de ancho por 38 de largo, unos 760 m².



FIG. 2. DETALLE DE PARCELA

1.2.2 Características de la edificación

El edificio es un edificio de viviendas diseñado en planta sótano, 5 plantas sobre rasante y cubierta.

La fachada frontal tiene 16 m de ancho y la lateral 30 m de largo. Tiene una forma de *i latina mayúscula*, donde los huecos laterales se han destinado a patio o terraza.

La planta sótano está destinada al aparcamiento de vehículos y **trasteros**. Sobre rasante el edificio está destinado a viviendas. Éste consta de 4 viviendas, una de ellas duplex. El edificio contará con un núcleo de escaleras y un ascensor de acceso común para todo el edificio y con un ascensor de acceso directo a la vivienda.

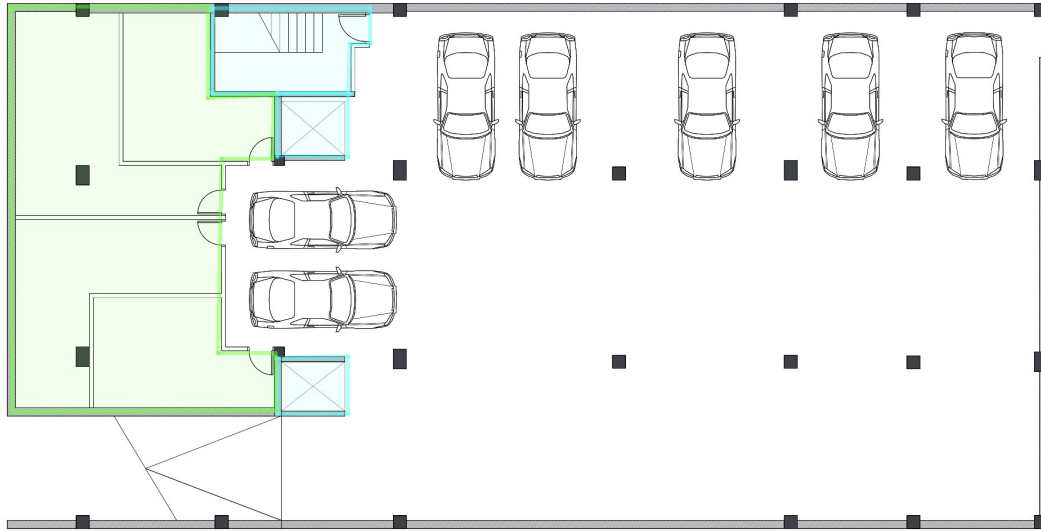


FIG. 3. PLANTA SÓTANO

La planta baja está destinada al [acceso al edificio](#) y en su mayor parte a una vivienda. La primera y la segunda planta son las llamadas *plantas tipo*, ya que son exactamente iguales y, quitando la zona común de la escalera y ascensores, están totalmente destinadas a la vivienda.

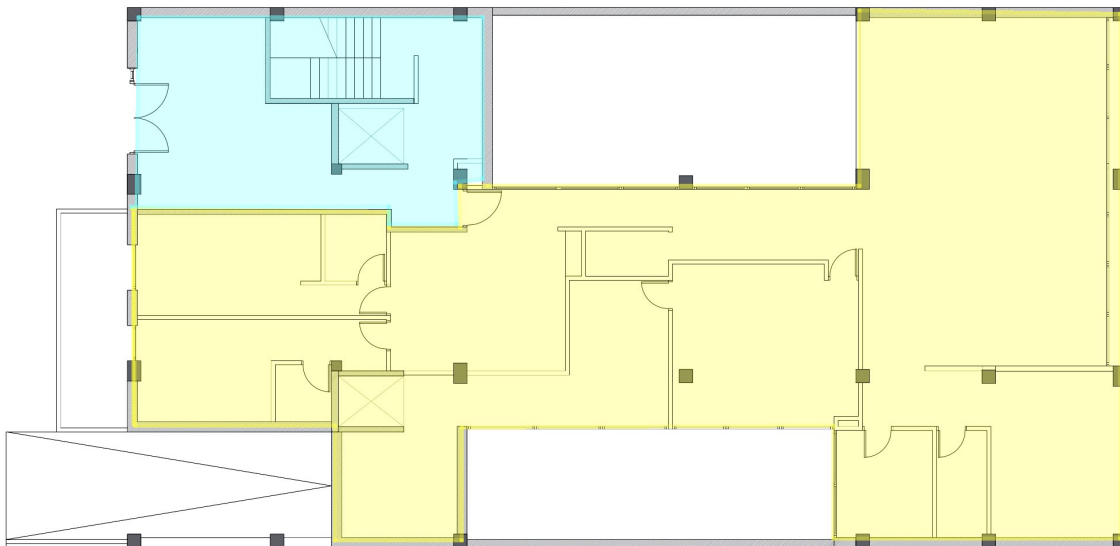


FIG. 4. PLANTA BAJA

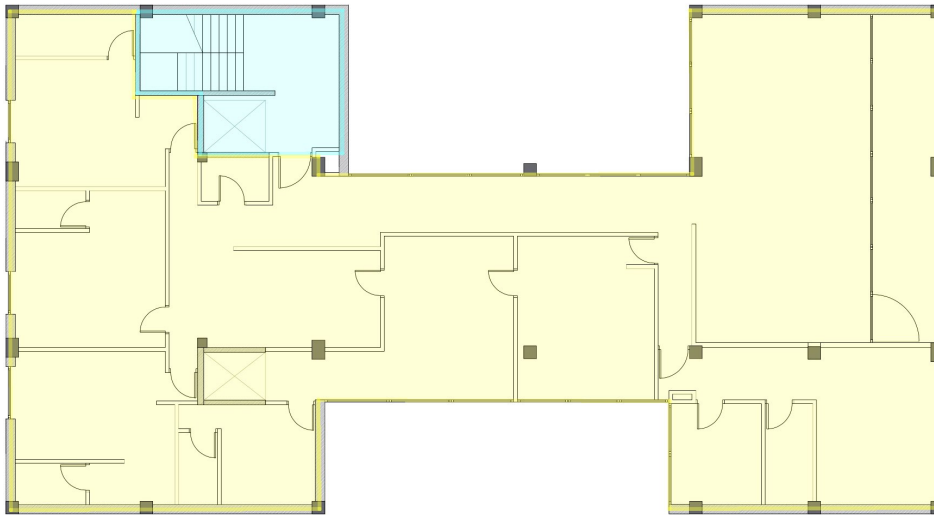


FIG. 5. PLANTA TIPO

Por último, la quinta y sexta planta están destinadas a una vivienda duplex, donde la planta baja será prácticamente igual que las plantas tipo, solo que contará con una escalera de acero y madera para acceder a la segunda planta. El segundo piso del duplex ocupará únicamente la mitad de la planta, el resto será cubierta, la cual será accesible por las escaleras.

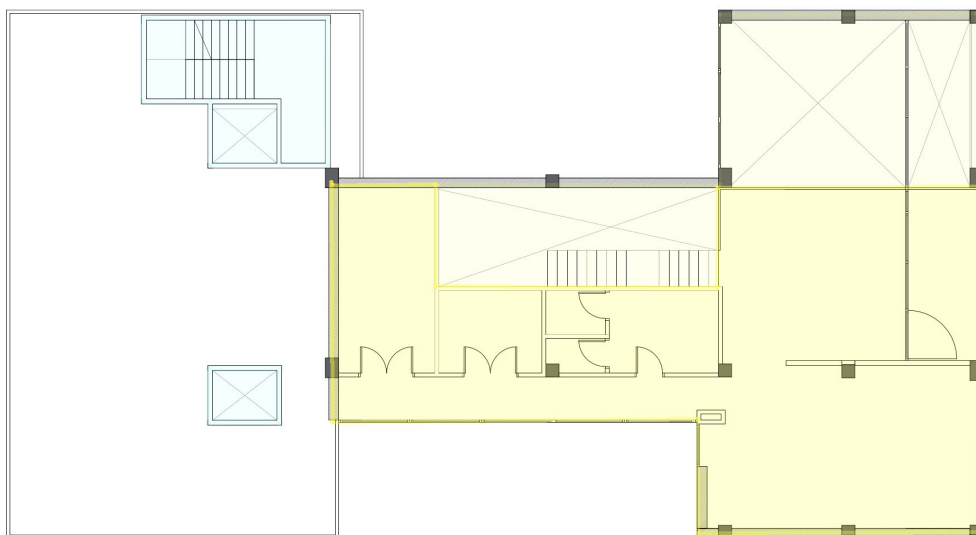


FIG. 6 PLANTA SEGUNDA ÁTICO

A continuación se muestra la relación de superficies por plantas del edificio.

BAJO RASANTE	Metros cuadrados (m^2)
Planta sótano	
Plazas de aparcamiento	140
Trasteros	80
SOBRE RASANTE	Metros cuadrados (m^2)
Planta baja	
Zona vivienda	280
Zonas comunes	60
Planta Tipo	
Zona vivienda	330
Zonas comunes	10
Planta primera del ático	
Zona vivienda	330
Zonas comunes	10
Planta segunda del ático	
Zona vivienda	140
Zonas comunes	8
Zona cubierta	130

TABLA 1. RELACIÓN DE SUPERFICIES

1.3 Metodología de trabajo

Se ha analizado exhaustivamente el proyecto básico y los planos de arquitectura para conseguir comprender perfectamente la idea del proyecto y cuales son sus particularidades y necesidades.

Se han estudiado los condicionantes del edificio y conforme a ellos se ha definido una solución estructural.

A continuación, se han calculado las acciones que soporte el edificio siguiendo las indicaciones del CTE DB-SE.

También se ha dedicado a la comprensión y aprendizaje del programa de cálculo (CYPE) para realizar un correcto planteamiento de la estructura.

Una vez introducida la estructura en el programa se han corregido los errores de cálculo y se han realizado los ajustes necesarios.

Una vez conseguida una solución eficiente, se han extraído del programa los planos y mediciones, para después retocarlos y llegar a la solución final.

2 BASES DEL CÁLCULO

2.1 Normativa

El cálculo de la estructura se ha realizado en base a las prescripciones y procedimientos recogidos en las siguientes normas:

- EHE-08, Instrucción de Hormigón Estructural.
- CTE, Código Técnico de la Edificación.
 - DB_SE (Documento Básico de Seguridad Estructural).
 - DB_SE-AE (Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación).
 - DB_SE-C (Documento Básico de Seguridad Estructural, Cimientos).
 - DB_SE-A (Documento Básico de Seguridad Estructural, Acero).
- EAE, Instrucción Española de Acero Estructural.

2.2 Ambiente

2.2.1 Clase general de exposición

Se debe definir el tipo de ambiente al que estará sometido la obra según el apartado “8.2. Bases de Cálculo Adicionales Orientadas a la Durabilidad” de la EHE-08, ya que el tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural puede llegar a provocar su degradación como e influir en el análisis estructural.

Se tiene que definir la *clase general de exposición* y la *clase específica de exposición*.

Tabla 8.2.2
Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
No agresiva		I	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. - Elementos de hormigón en masa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos estructurales de edificios, incluido los forjados, que estén protegidos de la intemperie.
Normal	Humedad alta	Ila	Corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones. - Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Elementos enterrados o sumergidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos estructurales en sótanos no ventilados. - Cementaciones. - Estribos, pilas y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm. - Tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm. - Elementos de hormigón, que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Forjados en cámara sanitaria, o en interiores en cocinas y baños, o en cubierta no protegida.
	Humedad media	IIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos estructurales en construcciones exteriores protegidas de la lluvia. - Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm.
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. - Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km). 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos estructurales de edificaciones en las proximidades de la costa. - Puentes en las proximidades de la costa. - Zonas aéreas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. - Instalaciones portuarias.
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas sumergidas de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. - Cementaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantalanos y otras obras de defensa litoral. - Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino. - Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Piscinas e interiores de los edificios que las albergan. - Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve. - Estaciones de tratamiento de agua.

Para la clase general de exposición se debe consultar la tabla 8.2.2 de la norma que se adjunta a continuación:

En el edificio diseñado el hormigón está a la vista, es decir a la intemperie, pero se sitúa en una zona *Normal* con una *humedad media*, así que la clase general será la Ila.

2.3 Materiales a utilizar

2.3.1 Elementos estructurales de hormigón

Deberemos cumplir las exigencias mínimas que exige a norma EHE - 08 en la tabla 37.3.2.b., con lo que tomamos las siguientes decisiones:

Tanto como para la estructura como para la cimentación se utilizará un hormigón armado HA-25/B/20/Ila.

- Módulo de elasticidad secante a 28 días: 27,26 MPa
- Módulo de elasticidad tangente a 28 días: 32,03 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,2
- Peso específico: 25 kN/m³
- Resistencia característica del hormigón: 25 MPa
- Tamaño máximo del árido: 20mm

2.3.2 Elementos estructurales de acero

Para las armaduras se selecciona un acero B500S según la norma, siguiendo la tabla 32.2.a, tanto para barras como para pernos.

Y se seleccionará que CYPE utilice únicamente redondos del diámetro 12, 16 o 20 mm.

Tabla 32.2.a
Tipos de acero corrugado

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación		B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, ε_{uS} (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\varepsilon_{máx}$ (%)	Acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	Acero suministrado en rollo ⁽³⁾	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_t/f_y ⁽²⁾		≥ 1,05	≥ 1,05	$1,20 \leq f_t/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_t/f_y \leq 1,35$
Relación $f_{y,real}/f_{y,nominal}$		—	—	≤ 1,20	≤ 1,25

2.4 Criterios y condicionantes

Se busca resolver la estructura de la forma más económica y eficiente posible y en los siguientes apartados se tratarán los condicionantes que afectarán al cálculo.

Se debe tener en cuenta que se está buscando una estructura tradicional y no se utilizarán grandes innovaciones en aspectos de diseño ni de métodos de construcción. Y, siempre, que el objetivo principal será que la estructura cumpla con los criterios de seguridad.

2.4.1 Condicionantes de diseño estructural

- Aparcamiento en el sótano:

El edificio tiene una planta bajo rasante destinada al aparcamiento de vehículos. Este hecho condiciona disposición de los pilares, ya que son necesarios espacios abiertos y libres para que los coches puedan maniobrar con comodidad. Una de las primeras condiciones a cumplir será intentar utilizar el menor número de pilares posibles.

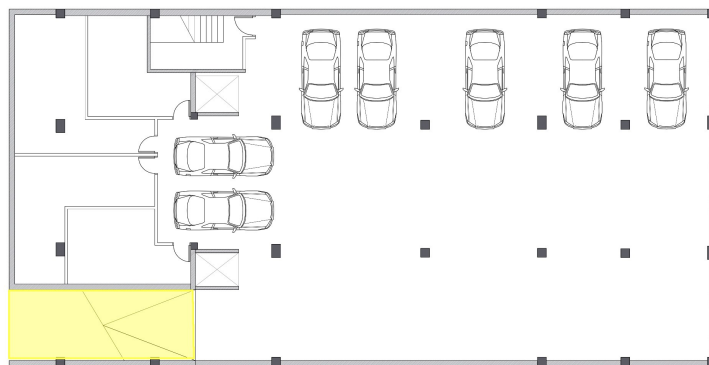


FIG. 7. RAMPA DE SÓTANO

También habrá que tener en cuenta la rampa de acceso al garaje. Será de losa maciza de hormigón armado apoyada sobre el terreno.

- Sala de estar y terraza:

Se quiere respetar el proyecto básico, por lo que la disposición de los elementos estructurales y su tamaño están condicionados por el diseño de los espacios realizado por el proyectista.

Uno de los puntos fuertes de estas viviendas es el salón abierto a la terraza totalmente libre de pilares. Para ceñirnos al diseño, y mantener esa idea de espacio abierto, la estructura requiere una luz de 7x10m. En cualquiera de los sentidos es una distancia excesiva para un forjado de viguetas convencional, por lo que se decide utilizar una placa alveolar de hormigón, que permitirá mantener esa zona libre de pilares o vigas.

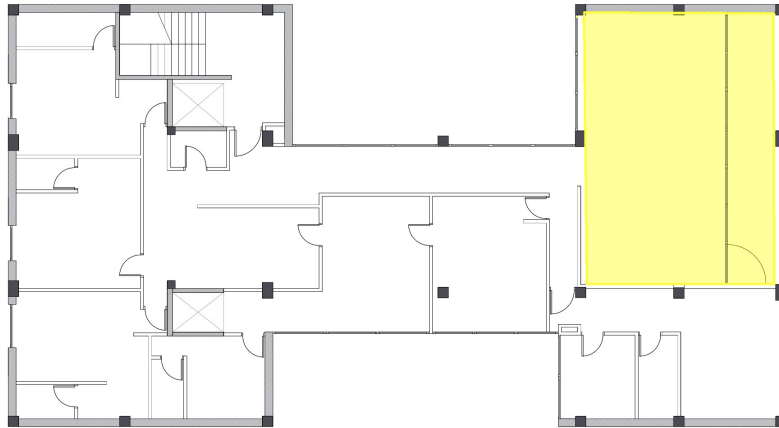


FIG. 8. ZONA SALA DE ESTAR Y TERRAZA

- Ascensores:

Al ser una vivienda de lujo, se ha diseñado para que haya dos ascensores, uno de doble embarque de uso general que comunica el portal con las zonas comunes de cada planta, y otro de servicio y un único embarque que comunica el garaje directamente con cada vivienda.

Habrà que diseñar una estructura que permita crear los dos huecos de ascensor y, a su vez, el hueco de las escaleras.

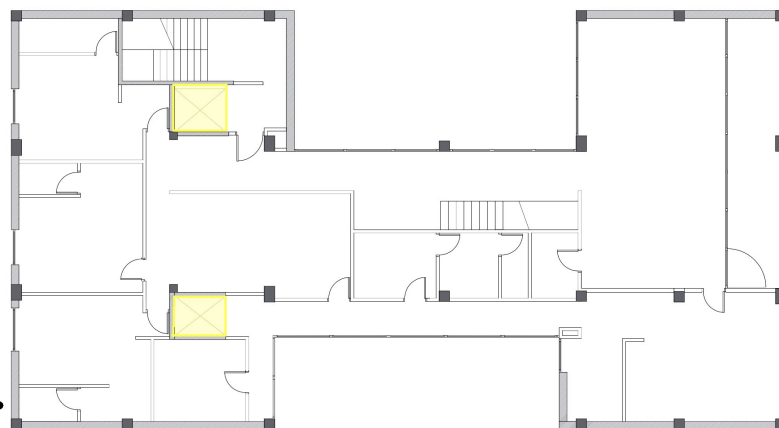


FIG. 9. HUECOS DE ASCENSORES

Para saber las dimensiones aproximadas que habrá que mantener se recurre a la siguiente tabla del catálogo de ascensores de la empresa KONE, donde se detallan las medidas necesarias del hueco para un ascensor para un edificio de altura media:

Personas/carga (kg)	Tamaño de cabina BBxDD (mm)	LL (mm)	Tamaño de hueco (mm) Puertas KES 201
4/320	750x1100	700 lat	1350x1500
	900x1000	700 lat	1400x1400
5/400	800x1200	700 lat	1350x1600 (1810)
		800 lat	1450x1500 (1710)
	950x1100	800 lat	1500x1500 (1710)
6/450	1000x1200	800 lat	1500x1600 (1810)
		900 lat	1650x1600 (1810)
6/480	950x1300	800 lat	1500x1700 (1910)
		900 lat	1650x1700 (1910)
		800 lat	1500x1650 (1860)
	1000x1250 (EN81-70)	900 lat	1650x1650 (1860)
		800 lat	1600x1800 (2010)
8/630	1100x1400 (EN81-70)	900 lat	1625x1800 (2010)
		800 lat	1600x2500 (2710)
13/1000	1100x2100 (EN81-70)	800 lat	1600x2500 (2710)
		900 lat	1650x2500 (2710)

Las dimensiones en azul corresponden a embarque doble 180°

Embarque simple

Embarque doble 180°

FIG. 10. RELACIÓN DE TAMAÑOS HUECO ASCENSOR (KONE)

Al ser un edificio de 4 viviendas, se tomará como referencia las dimensiones necesarias para ascensores de 6 personas como máximo.

- Normativa:

Se tendrán que cumplir todas las prescripciones sobre espacios de la norma, es decir, ancho de pasillos, escaleras, peldaños, ...

2.5 Acciones adoptadas en el cálculo

A continuación se detallarán todas las cargas a contemplar, tanto permanentes como variables.

2.5.1 Cargas superficiales

2.5.1.1 Cargas superficiales permanentes

- Peso propio (PP) de los elementos estructurales. No hará falta añadirlos, ya que CYPE los tendrá en cuenta nada más añadir el elemento estructural.

- Cargas muertas (CM): Corresponde a los elementos no estructurales como son el solado y la tabiquería. Los valores exactos se detallarán la siguiente tabla resumen y se han obtenido de la NTE-ECG (1988).

A este valor habrá que añadirle **100 kg/m²** de la **tabiquería** que también cuenta como Carga Muerta.

Zona vivienda (Viguetas) (A1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Tarima con enrastrelado	6	36
Mortero	4	80
Forjado 30+5	35	400
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	65	536
Zona Vivienda (Placa) (A1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Tarima con enrastrelado	6	36
Mortero	4	80
Placa alveolar (25+5)	35	500
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	65	636
Zona Terraza (Placa) (A1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Baldosa/Terrazo	4,5	80
Mortero	4	80
Placa alveolar (25+5)	35	500
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	63,5	680
Zona común (Viguetas) (A1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Baldosa/Terrazo	4,5	80
Mortero	4	80
Forjado 30+5	35	400
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	63,5	580
Zona cubierta (Viguetas) (G1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Baldosín catalán	4,5	280
Mortero	4	80
Forjado 30+5	35	400
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	63,5	780
Zona Cubierta (Placa) (G1)	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m2)
Solado: Baldosín catalán	4,5	280
Mortero	4	80
Placa alveolar (25+5)	35	500
Falso techo: Loseta de escayola	20	20
TOTAL	63,5	880

TABLA 2. CARGAS MUERTAS SUPERFICIALES

2.5.1.2 Cargas superficiales variables

- Sobrecarga de uso: Para saber la carga con la que se debe trabajar se consulta la tabla 3.1. del Documento Básico de Seguridad Estructural en Acciones de la Edificación (DB SE-AE) del CTE.

En el caso de este proyecto existirán zonas tipo A1, para viviendas, y G1, para las cubiertas

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

- Nieve: Se podría consultar el apartado 3.5.1. del DB-SE-AE del CTE, el cual especifica que en cubiertas planas de edificios de pisos situados a menos de 1.000 m de altitud (sobre el nivel del mar), se debe considerar 1,00 kN/m² pero, en este caso, se quiere ajustar más el valor para esta carga así que se obtiene del “Anejo E. Datos climáticos” del DB_SE-AE:



Como se puede ver en la anterior imagen el edificio se sitúa en la zona 2.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m ²)							
Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Pamplona está a una altitud de unos 450 m por encima del nivel del mar y en la Zona 2, por lo que la carga correspondiente a la **nieve** son **0,7 kN/m²**.

2.5.2 Cargas lineales

Éstas representarán las cargas lineales sobre las vigas, es decir, los muros, las escaleras o las losas.

2.5.2.1 Muros

Se diferenciarán dos tipos de muros, interior (M1), el que separara zona de viviendas de zona común, y exterior (M2), que separará la vivienda del exterior, y se considerará una altura entre forjados de 3,1m.

Muro Interior	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m ²)	Carga lineal (kg/m)
Raseo + Enlucido	1,5	20	62
11.5 LHD	11,5	150	465
Raseo + Enlucido	1,5	20	62
TOTAL	14,5	190	589
Aproximación	15		590
Muro Exterior	Espesor (cm)	Carga superficial (kg/m ²)	Carga lineal (kg/m)
Enfoscado	2	40	124
11.5 LHD	11,5	150	465
Aislante	6		0
Tabicón	9	110	341
Raseo + Enlucido	1,5	20	62
TOTAL	30	320	992
Aproximación	30		1000

TABLA 3. CARGAS LINEALES DE MUROS

2.5.2.2 Escaleras

Aunque CYPE realiza el cálculo de las escaleras de hormigón entre planta y planta y tiene en cuenta toda la carga que suponen en las vigas, la escalera entre el 4º forjado y el 5º, es decir, la del ático, será una escalera de estructura metálica con tablonos de madera de roble.

Ésta supondrá una carga, tanto en la viga superior que sujete la escalera, como en la inferior y habrá que tenerla en cuenta, tanto las cargas permanentes como las variables.

	Carga superficial (kg/m ²)	Carga lineal (kg/m)
Estructura metálica	72	180
Peldaños	30	75
Peso propio Escalera	102	255
Sobre carga de uso	200	520

TABLA 4. CARGAS ESCALERAS ÁTICO

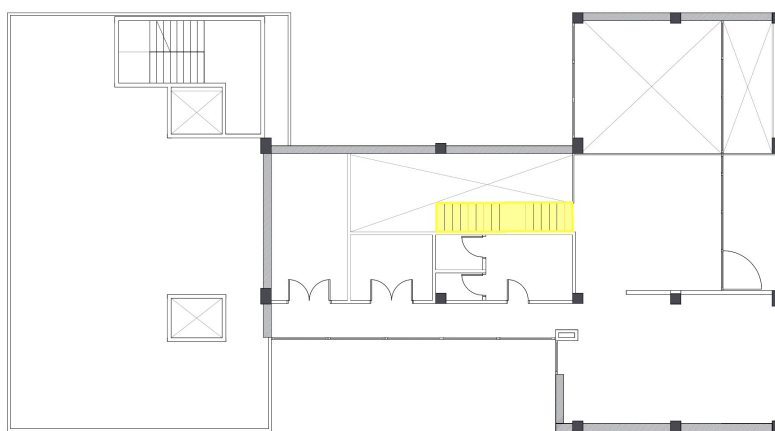


FIG. 11. ESCALERAS ÁTICO

2.5.2.3 Losas

Igual que en el caso anterior, CYPE no calcula con exactitud el esfuerzo real que hacen las placas de hormigón sobre las vigas, por lo que la mejor forma de aproximarse a un buen cálculo es calcular las cargas superficiales sobre el forjado y las del propio forjado y transformarlas en cargas lineales para poder aplicarlas en las vigas.

Para pasar las cargas superficiales a lineales, lo primero que hay que saber cual es la distancia entre vigas, ya que cada una se llevará la mitad de la misma. En este caso la luz

entre vigas es de 7 metros, por lo que habrá que multiplicar las cargas superficiales por 3,5 m para calcular cual será la forma lineal.

A continuación se adjunta una tabla con el resultado del estudio:

	Carga superficial (kg/m ²)	Carga lineal (kg/m)
Solado: Tarima con enrastrelado	36	126
Mortero	80	280
Losa alveolar (20+15)	500	1750
Falso techo: Loseta de escayola	20	70
Peso propio forjado y elementos constructivos	636	2226
Tabiquería	100	350
Sobre carga de uso (A1)	200	700
Sobre carga de uso (G1)	100	350

TABLA 5. CARGAS LINEALES DE LOSA

2.5.2.4 Casetones

Algunas de las vigas del quinto forjado soportarán el peso de los casetones de los ascensores y las escaleras. Los muros de los mismos serán muros de fábrica y la cubierta serán losas de hormigón con un solado de baldosa cerámica más impermeabilizante.

En vez de añadir los casetones como parte del sexto forjado, se decide realizar el mismo cálculo que el utilizado anteriormente para la losa y calcular así, la carga sobre las vigas de manera manual, ya que al ser una estructura tan pequeña no harán falta comprobaciones o cálculos complejos y el meterlo como carga lineal agilizará los cálculos en CYPE.

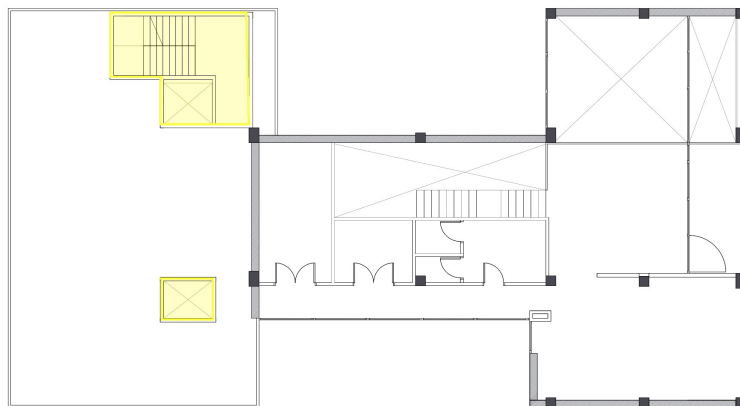


FIG. 12. CASETONES

Las cargas se calcularán para el peor de los casos, en la zona en la que se salva la escalera, donde la luz entre vigas es de 5 metros. De esta forma se tiene un margen en caso de que la maquinaria de los ascensores sea más pesada o tenga que ser soportada por las vigas.

No se tendrá en cuenta la sobre carga de uso ya que es una cubierta inaccesible.

	Carga superficial (kg/m ²)	Carga lineal (kg/m)
Muro exterior		1000
Forjado + Solado	330	825
Total Peso Propio		1825
Nieve	70	175

TABLA 6. CARGAS LINEALES DE CASETONES

2.5.3 Cargas puntuales

El diseño del edificio cuenta con un jardín vertical que llega hasta el tercer forjado, se encuentra en la zona del patio Noroeste para cerrarlo del acceso al público.

El jardín lo soportará una celosía que se sujetará en los pilares de la fachada.

Se ha tenido en cuenta la reacción que generará la unión entre los extremos superiores de la celosía sobre los pilares como una carga puntual.

Se ha realizado un cálculo aproximado en CYPE 3D, el módulo de estructura metálica, teniendo en cuenta como peso superficial de un jardín vertical 25 kg/m². Esta carga se aplicará sobre los montantes de la celosía.

El valor calculado para el esfuerzo en el extremo de la celosía será de 238 kg, se redondeará a 240 kg.

2.5.4 Resto de cargas

2.5.4.1 Viento

Se tendrá en cuenta la acción del introduciendo los siguientes parámetros en el programa:

- País donde se encuentra la obra: España

- Zona eólica: Zona A
- Grado de aspereza: Zona IV, Zona urbana, industrial o forestal.

2.5.4.2 Sismo

Se tendrá en cuenta el sismo para el cálculo con la opción directa que permite CYPE.

2.5.5 Combinaciones

Una vez definidas las cargas, es necesario comprobar un conjunto de estados, en las que diferentes acciones pueden actuar simultáneamente y generar una situación de carga crítica. Se estudian diferentes hipótesis siguiendo los siguientes criterios:

2.5.5.1 Estados límite últimos

Para situaciones permanentes o transitorias

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

2.5.5.2 Estados límites de servicios

Para combinación característica:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Para combinación cuasipermanente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes.
$G_{k,j}^*$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.
P_k	Valor característico de la acción del pretensado.
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables concomitantes.
$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.
$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$	Valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables con la acción determinante o con la acción accidental.

Los anteriores coeficientes se encuentran en la Tabla 4.2. del Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) del CTE, que se muestra a continuación:

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)			
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7
(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.			

2.6 Solución estructural adoptada

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente nombrados se ha llegado a una solución estructural que se espera que cumpla todos los requisitos.

En esta solución será la base para comenzar el cálculo con CYPE.

En resumen, la solución estructural del edificio será la siguiente:

El edificio posee una planta bajo rasante que se resolverá con un muro de sótano en la mayoría del perímetro, exceptuando el lateral exterior de la rampa del garaje. La cimentación del mismo se basará en zapatas corridas que irán unidas a las zapatas aisladas de los pilares a través de vigas de atado.

La rampa del garaje se realizará de losa maciza de hormigón armado apoyada sobre el terreno y se contendrán las tierras del lateral exterior con un muro ménsula.

Sobre rasante se encuentra la zona de viviendas desde la planta baja hasta la cubierta, todos las zonas de estas plantas se resolverán con forjados de viguetas pretensadas de hormigón a excepción de la zona de la sala de estar que se resolverá con una placa alveolar de hormigón.

Las escaleras serán de losa maciza de hormigón y estarán divididas en dos tramos con meseta intermedia.

Como se ha mencionado anteriormente, se quiere conseguir que los espacios sean lo más diáfanos posibles por lo que se intentará reducir el número de pilares interiores, o se colocarán en zonas en las que no dividan espacios como esquinas o zonas ya interrumpidas por muros, escaleras o huecos de ascensor.

Por otro lado, se han colocarán pilares por todo el perímetro evitando luces mayores a 6 m.

La mayoría de los pilares irán desde cimentación hasta el forjado 6, exceptuando los de la zona suroeste que llegarán únicamente hasta el forjado 5.

También habrá un único pilar que vaya desde la cimentación hasta el primer forjado en la zona del salón, ya que no afecta demasiado a la maniobrabilidad del garaje y evita que se tenga que utilizar placa alveolar en ese primer forjado.

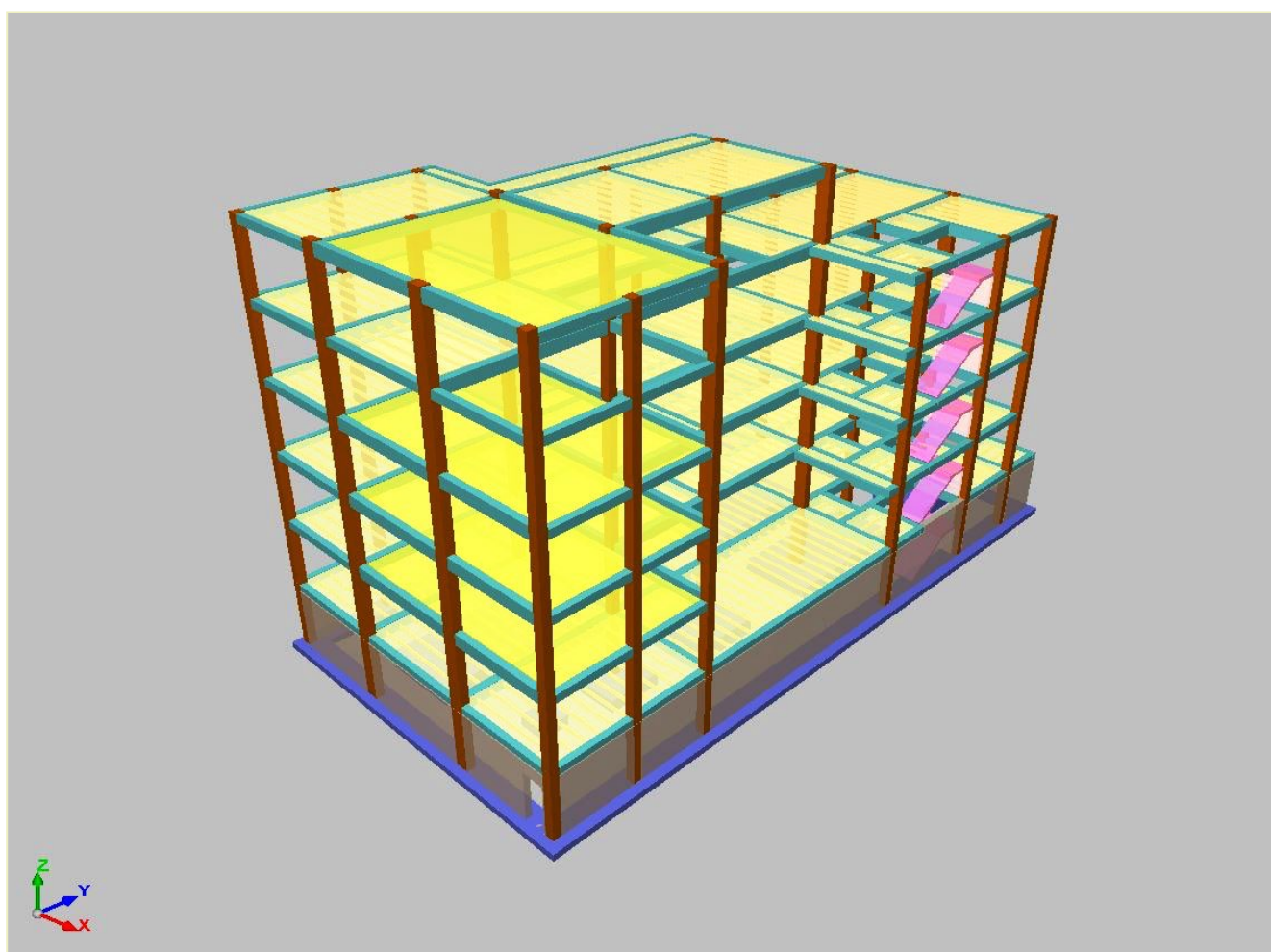


FIG. 13. VISTA 3D GENERAL DEL EDIFICIO EN CYPE

3 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

3.1 Cimentación

Se considerará una tensión admisible del terreno de 3 kp/cm^3 para situaciones persistentes y, para situaciones sísmicas y accidentales, 4 kp/cm^3 .

Para la armadura de todos los elementos de cimentación se utilizarán mallazos.

La cimentación para pilares se basará en zapatas aisladas excéntricas, para el predimensionado se exigió que las zapatas contaran con un canto mínimo de 40 cm.

Una vez calculado el valor del canto varía entre los 50 y los 60 cm, a excepción de las zapatas de los pilares 11 y 31 que requieren un canto de 90 cm, ambos son pilares que van desde cimentación al último forjado y de los que más carga soportan.

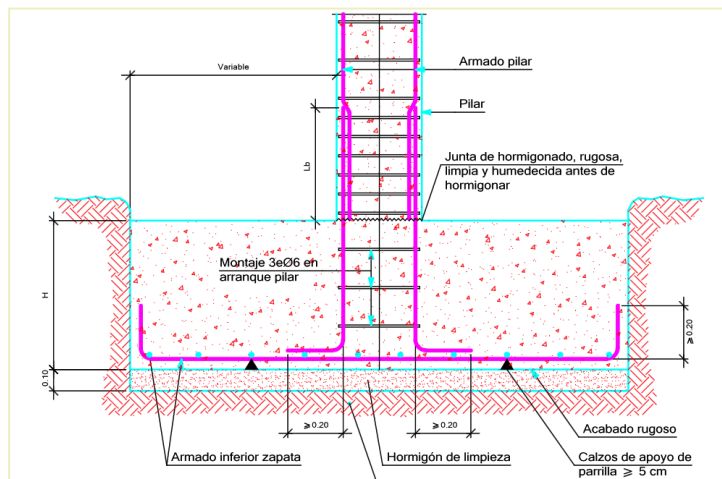


FIG. 14. ESQUEMA ZAPATA AISLADA

La cimentación del muro de sótano como la del muro ménsula serán zapatas corridas. Éstas deberán cumplir con las mismas especificaciones anteriores, un vuelo mínimo de 50 cm y un canto mínimo de 40.

Una vez realizado el cálculo, el programa sugiere un canto mínimo de 50 cm, pero el vuelo sugerido no llega a 50 por lo que se cambia.

Finalmente quedará una zapata corrida de 130 cm de ancho por 50 cm de canto.

Ésta servirá para el muro de sótano, pero como se verá más adelante, no cumplirá en estabilidad para el muro ménsula y necesitará un ancho de 190.

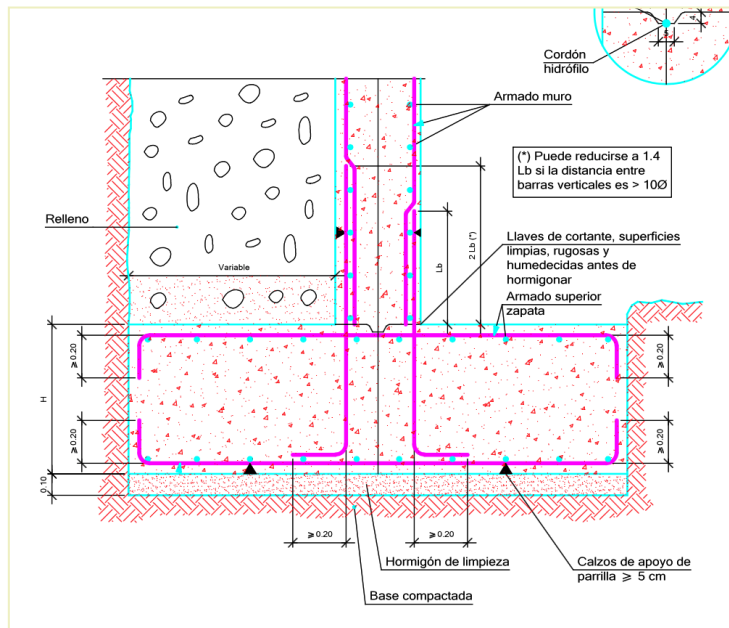


FIG. 15. ESQUEMA ZAPATA CORRIDA

Se unirán las zapatas aisladas a las zapatas corridas a través de vigas de atado para evitar los desplazamientos laterales.

3.2 Estructura vertical

3.2.1 Muros de sótano

En primer lugar se definen los muros de sótano, que serán todos de la misma altura a pesar de que la cota del terreno varía, estando el muro totalmente cubierto en la zona de la entrada y prácticamente libre en la zona trasera del edificio.

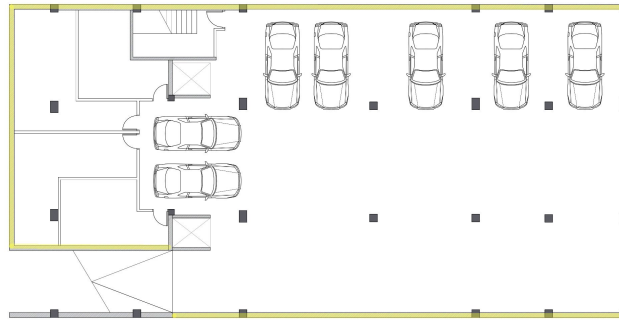


FIG. 16. MURO DE SÓTANO

Usualmente para muros de sótano de alturas normales se toman 25-30 cm de espesor. Se seleccionará un muro de 30 cm.

Se tendrá en cuenta dos hipótesis, la primera serán los esfuerzos del terreno sobre el muro como una carga uniforme y constante. En la segunda serán esfuerzos provocados por una sobrecarga de uso independiente, ya que encima del terreno, la calle, pueden aplicarse cargas diferentes que incrementen los esfuerzos sobre el muro. El cálculo se realizará siguiendo tratan posteriormente mediante las combinaciones de cálculo de toda la estructura.

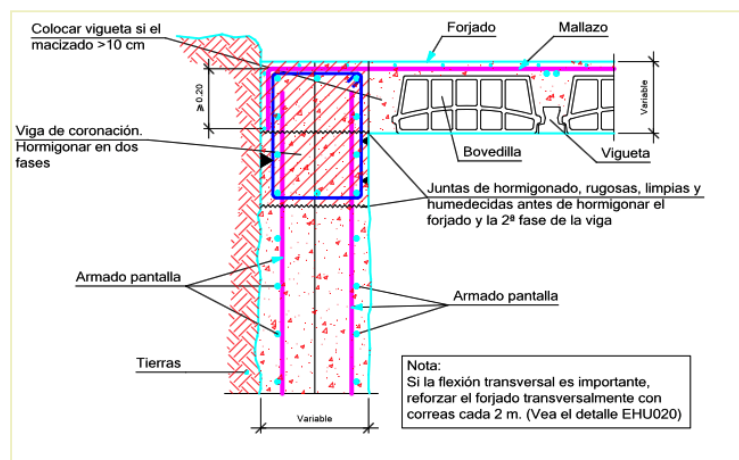


FIG. 17. UNIÓN MURO DE SÓTANO Y FORJADO DE VIGUETAS

3.2.2 Muros ménsula

Uno de los lados de la rampa del garaje da al exterior, por lo que no se podrán contener las tierras con muro de sótano. Se utilizará un muro ménsula que servirá también como vinculación exterior de los pilares.

Se tomará el mismo espesor que para el muro de sótano ya que irán uno detrás del otro y si ambos tienen el mismo espesor realizar una junta eficiente entre los dos será más sencillo.

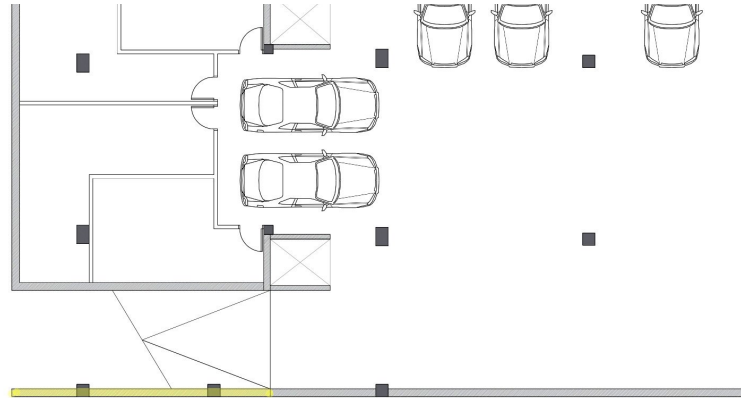
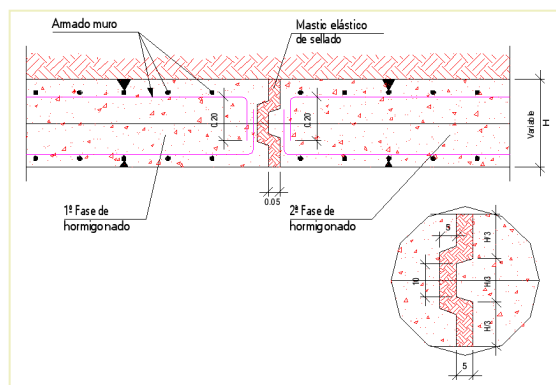


FIG. 18. MURO MÉNSULA

A la hora de predimensionar la zapata del muro, hay comprobar que ésta soporta el momento de vuelco, (Capítulo 4) y se intentará que ésta tenga una continuidad con la zapata corrida de los muros de sótano, a la vez que sirva de zapata para los dos pilares.

Para la unión entre los dos muros se colocará una junta de dilatación para evitar problemas de tensiones que puedan surgir ya que son dos tipos de muro diferente y con comportamientos diferentes frente a los esfuerzos.



3.2.3 Pilares

Se ha realizado un estudio funcional de las plantas que ha servido como base para seleccionar donde estarán los puntos de crecimiento de los pilares, en caso de que hiciera falta aumentar la sección. El punto de crecimiento de un pilar es el punto fijo que no puede moverse y limita hacia donde puede crecer la sección del mismo.

Para determinar donde estarán se tiene en cuenta el diseño de los espacios de la planta: Limitaciones de espacio como un pasillo, una rampa o una plaza de garaje, límite de parcela, un hueco de ascensor...

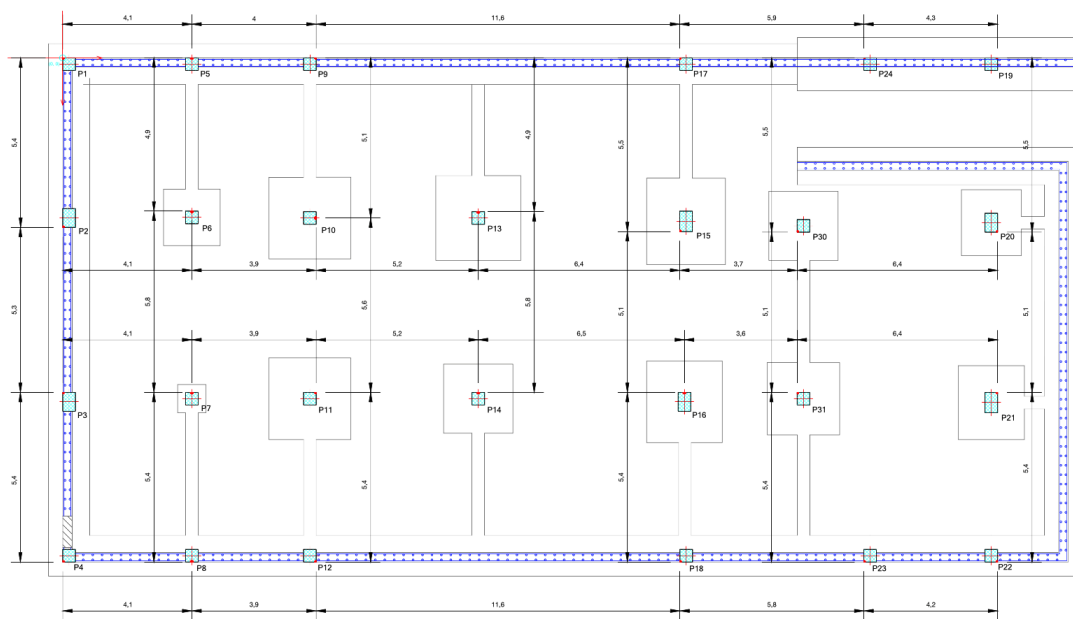


FIG. 20. PLANO DE REPLANTEO DE PILARES CON LOS PUNTOS DE CRECIMIENTO

En principio, se predimensiona con pilares serán de 30x30 cm, pero una vez realizado el cálculo se ve que algunos pilares necesitan mayor sección.

El proyecto básico obliga a que haya una desalineación de pilares que hace que éstos tengan que ser más grandes de lo normal.

Se cambiarán todos los pilares entonces a 40x40 cm a excepción de algún pilar intermedio que será de 40x60 cm para mejorar el ajuste entre vigas y que éstas no queden con demasiado vuelo.

Aunque no todos lo necesitaran, es una forma de estar del lado de la seguridad y de reducir los problemas una vez se realice el cálculo teniendo en cuenta el viento dentro de las hipótesis, ya que es cuando suelen fallar los pilares, y en este caso no fallará ninguno.

Por último, los pilares perimetrales irán vinculados al muro de sótano o ménsula.

3.3 Vigas

Las dimensiones de las vigas variarán mucho en caso cada caso, ya que hay muchos tipos diferentes de luces que salvar.

Para el predimensionado, se tendrán en cuenta los siguientes criterios según Luís Felipe Rodríguez Martín:

- Vigas planas:

Siendo b el ancho de la viga y L la luz en metros.

Para interiores:

$$b = \frac{L}{10} + 0,1$$

Para exteriores:

$$b = \frac{L}{10}$$

- Vigas de canto:

Siendo h el canto de la viga, b el ancho y L la luz.

$$h = \frac{L}{12} \quad b = \frac{h}{2}$$

En general se tenderá a utilizar vigas planas, aunque en muchos casos será necesario un canto mayor, siendo como máximo de 50 cm para poder cubrirlo con el falso techo, ya que éste da un margen de alrededor de 15 cm desde el canto del forjado.

En algún caso ha aumentado el armado longitudinal ya que no se podía aumentar la sección de ninguna manera y la viga fallaba a flecha.

Por ejemplo, en el caso de la [viga](#) que separa el hueco del ascensor y las escaleras, el ancho máximo podía ser 30 cm, para mantener las dimensiones de los huecos dentro de la norma, y el canto no estaba delimitado directamente ya que bajo esta viga se encuentra un muro interior.

El problema era que la viga se apoyaba en dos brochales que a su vez se apoyaban en otras dos vigas, el canto de un brochal no puede ser superior al de la viga en la que se apoya, por lo que aumentar el canto de la viga de la escalera provocaba un aumento en el resto de vigas de alrededor, por lo que era inviable y se tuvo que aumentar el armado.

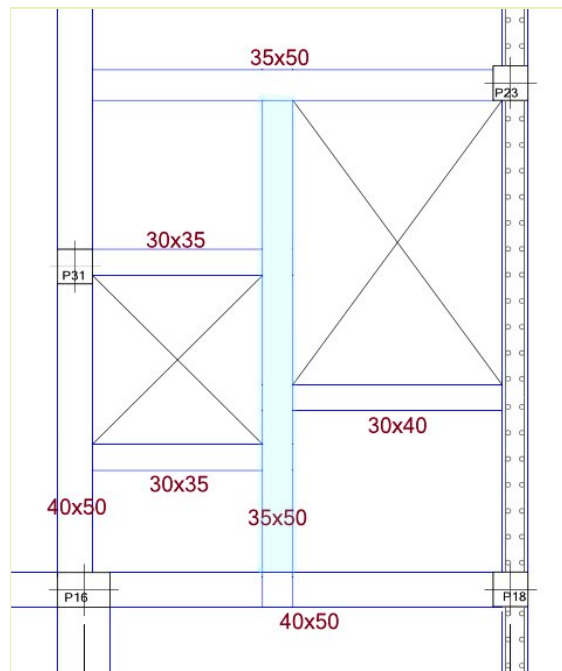


FIG. 21. ESQUEMA VIGA HUECOS

Los huecos mínimos necesarios para la escalera o los ascensores también han limitado el uso de vigas planas, ya que éstas requieren mayor espacio superficial, y al aumentar sección restan espacio a los huecos que tengan a su lado.

Las vigas que soportan la losa de hormigón serán vigas en T invertidas con un único ala y la losa se apoyará en el vuelo de las mismas.

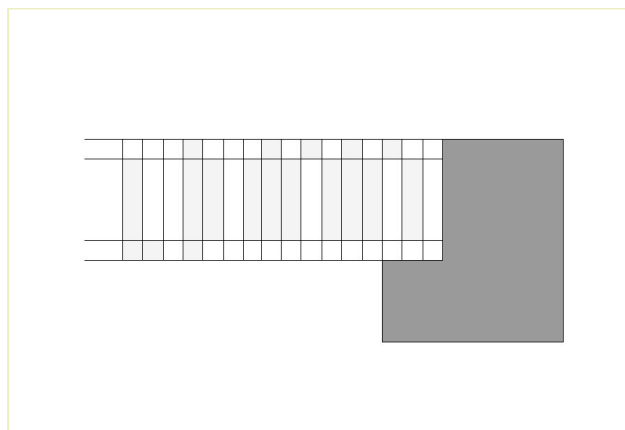


FIG. 22. ESQUEMA DE VIGAS EN T Y LOSA

CYPE no considera tiene en cuenta el armado transversal necesario para que el ala de la viga soporte el cortante, se calculará el armado necesario a manualmente (Capítulo 4).

3.4 Forjados

En este apartado se definen los tipos de forjado que se utilizarán en el edificio.

3.4.1 Losa de hormigón

Como ya se ha mencionado anteriormente, en la zona del sala de estar de las viviendas no es viable utilizar el forjado anterior, así que se recurrirá a una Placa aligerada de hormigón.

El canto mínimo se calculará de manera manual siguiendo la norma EH-08, para seleccionar el espesor que deberá tener la placa. Se colocará la losa paralela a las vigas de menor luz, para que así la luz de la losa sea la menor también.

Según la norma:

$$h_{min} \geq \partial_1 \cdot \partial_2 \cdot \frac{L}{C}$$

Donde:

$$\partial_1 = \sqrt{\frac{q}{7}} \quad \partial_2 = \left(\frac{L}{6}\right)^{1/4}$$

q = A la carga total que soportara el forjado

L = La luz del forjado

C = Coeficiente sacado de la norma de la siguiente tabla. (EHE - 08)

Tabla 50.2.2.1.b
Coeficientes C

Tipo de forjado	Tipo de carga	Tipo de tramo		
		Aislado	Extremo	Interior
Viguetas armadas	Con tabiques o muros	17	21	24
	Cubiertas	20	24	27
Viguetas pretensadas	Con tabiques o muros	19	23	26
	Cubiertas	22	26	29
Losas alveolares pretensadas(*)	Con tabiques o muros	36	—	—
	Cubiertas	45	—	—

Por lo que la ecuación queda:

$$h_{min} = \sqrt{\frac{4,36}{7}} \cdot \left(\frac{7,5}{6}\right)^{1/4} \cdot \frac{7,5}{25} = 0,23m \approx 25cm$$

Se selecciona entonces una losa de 25+10 cm de Viguetas Navarra, asegurando que el forjado cumplirá todos los requisitos, ya que supera con más de 5 cm el canto necesario.

44 secciones y detalles técnicos

PLACA ALVEOLAR PRETENSADA

Placa Alveolar 25*120

PLACA ALVEOLAR 25+5

Sobrecarga (kn/m2)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
2,00	9,50	10,45	11,65	12,45	13,15	14,15	14,70
4,00	8,40	9,20	10,30	10,95	11,60	12,45	12,95
5,00	7,95	8,75	9,75	10,40	11,00	11,80	12,25
6,00	7,60	8,30	9,30	9,90	10,50	11,25	11,70
8,00	6,95	7,65	8,55	9,10	9,65	10,35	10,75
10,00	6,50	7,10	7,95	8,45	8,95	9,65	10,00
15,00	5,60	6,15	6,85	7,35	7,75	8,30	8,65
20,00	5,00	5,50	6,15	6,55	6,95	7,45	7,75
25,00	4,55	5,00	5,60	6,00	6,30	6,80	7,05
30,00	4,25	4,65	5,20	5,55	5,85	6,30	6,55

FIG. 23. FICHA TÉCNICA PLACA ALVEOLAR CYPE

3.4.2 Forjado de viguetas

Se tenderá a utilizar un forjado de viguetas convencional en todas las zonas posibles, se ha seleccionado un Forjado de Viguetas Navarras Pretensadas de tipo Z. Para el canto se realizará el mismo cálculo que para la placa alveolar, escogiendo como luz la mayor que haya en el proyecto, que en este caso son 6 m.

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{4,36}{7}} \cdot \left(\frac{6}{6}\right)^{1/4} \cdot \frac{6}{22} = 0,21m \approx 25cm$$

Se seleccionará un canto de 30+5 cm. De esta forma, se iguala con el de la losa y se sabe que soportará con margen la carga, ya que el cálculo realizado para la losa sirve, del lado de la seguridad, para el canto del forjado de viguetas. Se ha seleccionado este proveedor por ser de la zona.

secciones y detalles técnicos

VIGUETA PRETENSADA TIPO Z

TIPO "Z" 30+5

PESO M2 BOV. HORMIGON	PESO M2 BOV. ARLITA	PESO M2 BOV. POREXPAN
4.44 KN/M2	3.96 KN/M2	2.71 KN/M2

FIG. 24. FICHA TÉCNICA FORJADO DE VIGUETAS

La disposición de este tipo de forjado irá variando según el paño en el que se coloque, en principio se buscará la menor luz posible, pero habrá casos en los que justo eso será lo que provoque un momento positivo en el apoyo de las viguetas.

A pesar de todo, se colocará armado negativo por todo el forjado para asegurar que aquello no de problemas.

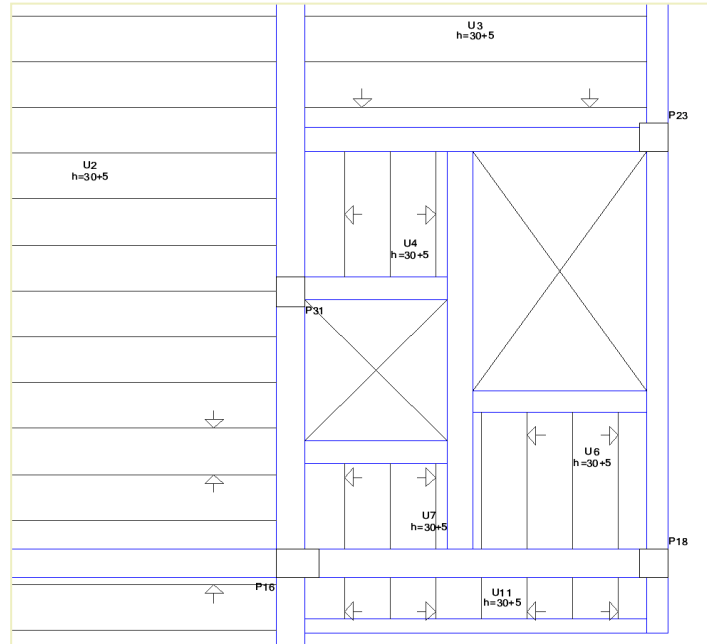


FIG. 25. DISPOSICIONES FORJADO DE VIGUETAS

3.5 Escaleras

Las escaleras serán de losa maciza de hormigón armado, divididas en dos tramos y con meseta intermedia. Y, aunque CYPE calculará la armadura, es necesario realizar un cálculo de las dimensiones que deberá tener la misma.

La norma dice que el ancho mínimo de la escalera para obra nueva debe ser de al menos 1,20 metros, y que la relación *huella-contrahuella* debe cumplir la siguiente pauta:

$$2c + h \geq 60$$

En este caso, se tiene una altura de forjado a forjado de 3,10 metros, que se ha decidido salvar en 16 escalones de 19,5 cm de contra huella y 30 cm de huella.

Se comprueba si las dimensiones seleccionadas cumplen la normativa:

$$2 \cdot 19,5 + 30 = 69 \geq 60 \rightarrow OK!$$

4 CÁLCULOS Y COMPARACIONES

A continuación se presentan cálculos que ha sido necesario realizar manualmente, ya que CYPE no lo tenía en cuenta.

4.1 Cálculo de estabilidad del muro ménsula

Los muros ménsula soportan el terreno, y éste provocará un momento de vuelco en la zapata del muro, ésta tendrá que ser capaz de compensar ese momento con otro momento antivuelco.

A la hora de dimensionar la zapata del muro se tendrán en cuenta todas las cargas que actúan en el muro y se clasificarán entre las que provocan el momento de vuelco y las que provocan el de antivuelco.

Se considera los siguientes valores:

- Densidad del terreno: 30 kN/m³
- Densidad del hormigón: 25 kN/m³

Las dimensiones serán una zapata de 1,3 m de ancho y 0,5 m de canto, con un vuelo a cada lado de 0,5 m. La altura del muro son 3,1 m.

Las cargas a tener en cuenta serán:

- La sobrecarga de los pavimentos sobre el terreno a soportar (P sobrecarga y P sobrecarga interior): 5 kN/m²
- Peso del terreno a soportar (W terreno): Sobre la zapata
- Peso del muro (W muro)
- Peso de la zapata (W zapata)
- Los empujes del terreno, el de la sobrecarga (E_q) y el del terreno (E_t) realizarán unos empujes perpendiculares a la superficie del muro.

Para calcular los momentos ejercidos para carga habrá que seleccionar un punto de referencia (A), y éste siempre es la esquina inferior del lado menos cargado o sin tierra de la zapata.

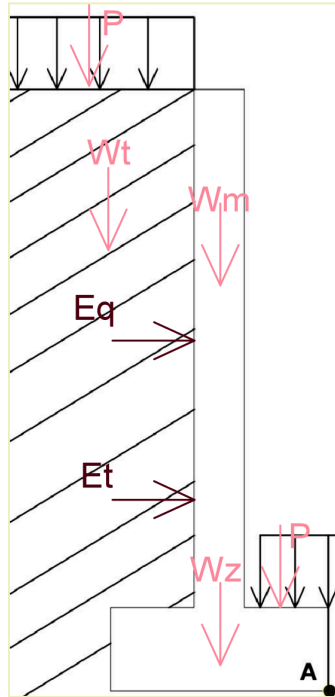


FIG. 26. ESQUEMA MURO MÉNSULA

Se calculará el valor de los momentos ejercidos por cada fuerza desde su punto de aplicación hasta el punto A. Y se realizará el sumatorio de los los momentos de vuelco y los momentos antivuelco.

A continuación, se recoge en una tabla los valores de estos sumatorios.

	Pesos y empujes (kN)	Distancia al punto A (m)	Momento en A (kN·m)
P sobrecarga	2,5	1,05	2,63
W terreno	46,5	1,05	48,83
W muro	23,25	0,65	15,11
W zapata	16,25	0,65	10,56
P sobrecarga interior	3,25	0,325	1,06
		M antivuelco	78,18
Eq	5,94	1,8	10,69
Et	64,2	1,2	77,04
		M vuelco	87,73
		Relación Mav/Mv	0,89

TABLA 7. PRIMER CÁLCULO ESTABILIDAD MURO MÉNSULA

El momento antivuelco debería salir mínimo dos veces mayor que el momento de vuelco, por lo que habrá que aumentar vuelo de la zapata, ya que el que CYPE da no cumple la norma.

Se vuelven a realizar los cálculos para una zapata con unos vuelos de 80 cm.

	Pesos y empujes (kN)	Distancia al punto A (m)	Momento en A (kN·m)
P sobrecarga	4	1,5	6
W terreno	74,4	1,5	111,6
W muro	23,25	0,95	22,0875
W zapata	23,75	0,95	22,5625
P sobrecarga interior	4	0,4	1,6
		M antivuelco	163,85
Eq	5,94	1,8	10,692
Et	64,2	1,2	77,04
		M vuelco	87,732
		Relación Mav/Mv	1,87

TABLA 8. SEGUNDO CÁLCULO ESTABILIDAD MURO MÉNSULA

Aunque la relación no llega a 2, se está calculando para una situación que no es realista ya que en ningún momento el muro va a estar completamente libre en el interior, ya que tendrá la rampa que irá bajando desde la cota más alta hasta la más baja.

Por lo que la zapata del muro ménsula será una zapata corrida con un ancho de 190 cm y un canto de 50.

4.2 Cálculo del armado transversal de las vigas en L

CYPE no tiene en cuenta el esfuerzo real que supone para el ala de la viga que todo el cortante esté aplicado sobre ella, por lo que habrá que realizar los cálculos del armado transversal de cosido (horizontal), el que une el ala a la sección vertical de la viga.

En un principio, se realizan los cálculos para un $h_f=15$ cm.

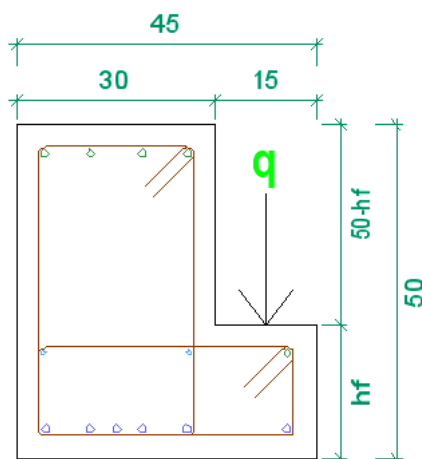


FIG. 27. ESQUEMA DE SECCIÓN DE VIGA EN L

Las cargas que soportará la viga las sabemos ya que se han calculado para poder meterlas en CYPE como carga lineal, serán las siguientes:

Tipo de carga	kg/m	Coefficientes de mayoración	Carga mayorada, kg/m
Peso propio de elementos	3256	1,35	4395,6
Tabiquería	370	1,35	499,5
Sobrecarga de uso	740	1,5	1110
TOTAL			6005,1

TABLA. 9. CARGAS SOBRE VIGA EN L

Los cálculos se realizarán por metro de viga, es decir, tomando la longitud de la viga como 1m.

4.2.1 Cálculos según la EHE-08

4.2.1.1 Cálculo para flexión según el Anejo 7

Se calcula el momento que realizará el cortante sobre el eje de la viga, se va a calcular la armadura necesaria para la viga como si el vuelo de la L fuera una ménsula de 15 cm de largo y 1 metro de ancho:

$$M_d = 6005 \cdot (10 + 15) = 1501 \text{kp} \cdot \text{m}$$

Hay que comparar este momento con el momento límite que soportara la viga, se según la norma sigue la siguiente expresión:

$$M_{\text{lim}} = 0,375 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 0,375 \cdot \left(\frac{25}{1,5} \right) \cdot 1000 \cdot 120^2 = 9001 \text{kp} \cdot \text{m}$$

Siendo f_{cd} la resistencia característica del hormigón minorada, b el ancho total de la viga y d el canto de la viga menos el recubrimiento, en este caso como solo se está estudiando el ala, el d será 15 cm menos 3 cm de recubrimiento, es decir, 12 cm.

Como se puede apreciar el momento límite es bastante más grande que el momento aplicado, así que se continúa calculando el armado.

Según la norma:

$$U_0 = f_{cd} \cdot b \cdot d = \left(\frac{25}{1,5} \right) \cdot 1000 \cdot 120 = 2000400 \text{N}$$

$$U_{s1} = U_0 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_d}{U_0 d}} \right) = 2000400 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1351 \cdot 10^4}{2000400 \cdot 120}} \right) = 155943 \text{N}$$

Según la norma el armado necesario será:

$$A_s = \frac{U_{s1}}{f_{yd}} = \frac{155943}{\frac{500}{1,15}} = 266 \text{mm}^2$$

Siendo f_{yd} el límite elástico del acero minorado.

Lo que da una armadura transversal necesaria de 266 milímetros cuadrados por cada metro de viga, se decide colocar redondos de diámetro 8 mm por cada 15 cm de viga, que da un área de 333 milímetros cuadrados por metro de viga.

4.2.1.2. Cálculo para el cortante

Según el artículo 44.2.3.2.2 de la norma EHE-08:

$$V_{cu} = \frac{0,18}{\gamma_c} \zeta (100 \cdot \rho \cdot f_{cv})^{1/3} b_0 d = \frac{0,18}{1,5} 2 (100 \cdot 0,002 \cdot 25)^{1/3} 1000 \cdot 120 = 5083 N$$

Este valor debe ser mayor al cortante aplicado, y no es el caso ya que el valor del cortante aplicado es 6005 N.

Hay que rehacer los cálculos aumentando el canto del ala.

4.2.1.3 Segundo cálculo para flexión según el Anejo 7

Se realizan los cálculos otra vez para un $h_f=20\text{cm}$.

Se calcula el momento que realizará el cortante sobre el eje de la viga:

$$M_d = 6005 \cdot (10 + 15) = 1501 \text{kp} \cdot \text{m}$$

Hay que comparar este momento con el momento límite que soportara la viga, se según la norma sigue la siguiente expresión:

$$M_{lim} = 0.375 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 0,375 \cdot \left(\frac{25}{1,5} \right) \cdot 1000 \cdot 170^2 = 180661 \text{kp} \cdot \text{m}$$

Siendo f_{cd} la resistencia característica del hormigón minorada, b el ancho total de la viga y d el canto de la viga menos el recubrimiento, en este caso como solo se está estudiando el ala, el d será 20 cm menos 3 cm de recubrimiento, es decir, 17 cm.

Como se puede apreciar el momento límite es bastante más grande que el momento aplicado, así que se continúa calculando el armado.

Según la norma:

$$U_0 = f_{cd} \cdot b \cdot d = \left(\frac{25}{1,5} \right) \cdot 1000 \cdot 170 = 2833900 N$$

$$U_{s1} = U_0 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_d}{U_0 d}} \right) = 2833900 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1351 \cdot 10^4}{2833900 \cdot 170}} \right) = 80618 N$$

Según la norma el armado necesario será:

$$A_s = \frac{U_{s1}}{f_{yd}} = \frac{80618}{\frac{500}{1,15}} = 186 mm^2$$

Lo que da una armadura longitudinal para el vuelo de la viga de 186 milímetros cuadrados por cada metro de viga. Se mantienen los redondos de diámetro 8 pero se colocan cada 25cm, que da un área de 200 milímetros cuadrados por metro de viga.

4.2.1.2. Segundo cálculo para el cortante

Hay que volver a comprobar si la sección cumpliría a cortante, según el artículo 44.2.3.2.2 de la norma EHE-08:

$$V_{cu} = \frac{0,18}{\gamma_c} \zeta (100 \cdot \rho \cdot f_{cv})^{1/3} b_0 d = \frac{0,18}{1,5} 2 (100 \cdot 0,001 \cdot 25)^{1/3} 1000 \cdot 170 = 55374 N$$

Con esta sección la viga cumple a cortante con mucho margen de seguridad, así que ésta será la sección definitiva de la viga.

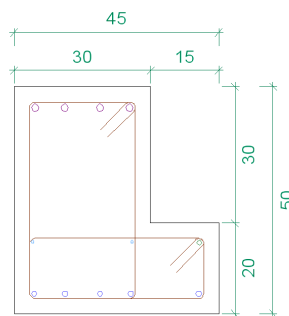


FIG. 28. ESQUEMA DE SECCIÓN DE VIGA EN L

4.2.2 Cálculo para esfuerzo rasante según Jimenez Montoya

Según Montoya el ala de la viga sufrirá un esfuerzo rasante debido al cortante, y el armado necesario para soportar ese esfuerzo se puede calcular como el armado transversal necesario para cortante de una viga virtual.

La viga virtual tendrá un canto d , el mismo que el de la viga completa, es decir, en este caso 47 cm, y un ancho hf , es decir, 20 cm.

El esfuerzo cortante seguirá la siguiente relación:

$$V_f = \frac{U_f}{U_{total}} V_d = \frac{56}{622} 60 = 5,46 \text{ KN}$$

Donde U_f es el armado longitudinal traccionado en el ala y U_{total} es el total de la viga. Se tomarán los valores calculados por CYPE.

- U_f : 2 redondos de 6 mm de diámetro en el ala.
- U_{total} : 5 redondos de 12 mm de diámetro más los dos del 6 del ala.

Teniendo el valor del cortante y las dimensiones de la viga, se realiza el cálculo para armadura transversal según la norma EHE-08:

Donde se calculará la distancia mínima entre estribos según el diámetro del mismo, en este caso se calculará para 8 mm, ya que es el valor que se ha utilizado en la comprobación anterior.

Según la norma:

$$V_{su} = 0,9 \cdot d \cdot A_\alpha \cdot f_{y\alpha d} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{n \cdot \pi \cdot \phi^2}{S_t \cdot 4} \cdot f_{y\alpha d}$$

Donde S_t es la distancia mínima entre estribos en función al diámetro, el canto útil de la viga (d , en este caso será 47 cm menos 3 de recubrimiento, 44 cm) y el número de ramas.

Se despeja de la fórmula el valor S_t y se deja en función de V_{su} , ya que es el que interesa en el cálculo.

$$S_t = \frac{0,9 \cdot d \cdot n \cdot \pi \cdot \phi^2}{4 V_{su}} f_{y\alpha d}$$

La norma también dice que:

$$V_{su} = V_d - V_{cu}$$

Por lo que será necesario calcular el valor de V_{cu} y para así hallar V_{su} y calcular el valor de St .

$$V_{cu} = \frac{0,18}{\gamma_c} \zeta (100 \cdot \rho \cdot f_{cv})^{1/3} b_0 d = \frac{0,18}{1,5} 2 (100 \cdot 0,00063 \cdot 25)^{1/3} 200 \cdot 440 = 20,5 \text{ KN}$$

Como se puede ver, V_{cu} es mucho mayor que V_d , eso quiere decir que la viga se encuentra en una situación de estribado mínimos, por lo que el valor de St deberá cumplir lo siguiente:

- $St < 0,75d = 330 \text{ mm} = 33 \text{ cm}$
- $St < 600 \text{ mm}$

4.2.3 Valoración de las comparaciones

Como se puede ver el cálculo según el Anejo 7 de la norma EHE-08 es más restrictivo que el de Jimenez Montoya, por lo que se tomarán como válidos los valores del apartado 4.2.1, donde se calcula que los estribos deberán ser redondos 8 mm de diámetro cada 25 cm.

Aún y todo, al revisar el armado necesario calculado por CYPE, se ve que éste está todavía preparado para soportar aún más carga ya que CYPE ha calculado estribos de 10 mm de diámetro cada 16 cm, por lo que se mantendrá ese armado para estar así del lado de la seguridad.

El haber aumentado el canto del ala de la viga obliga a tener que reducir el canto del forjado ya que ahora se cuentan únicamente con 30 cm hasta la cara superior de la viga, por lo que la losa alveolar a utilizar será una de canto 25+5 cm.

No se reharán los cálculos de cargas realizados en los anteriores capítulos ya que en caso de cambiar algo, se estará trabajando del lado de la seguridad.

5 CONCLUSIONES

5.1 Relativas a la definición de la solución estructural

El diseño de este edificio estaba basado en un proyecto de GQ Arquitectos para un edificio de viviendas en Perú.



FIG. 29. FOTO DEL EDIFICIO DE REFERENCIA

Por la distribución se supuso que era un diseño realizado para ser construido con losa de hormigón como forjado principal, la cual da mucha más libertad a la hora de diseñar espacios, ya que no requiere que los pilares estén alineados o permite luces mucho más amplias.

En este caso, se ha querido buscar una solución para la estructura más convencional en estos casos, así que se han realizado los cambios necesarios para poder utilizar un forjado convencional y de la zona.



FIG. 30. SALA DE ESTAR EDIFICIO REFERENCIA

También han sido claves el estudio y comprensión de los espacios y funciones del edificio a la hora de plantear una solución estructural, ya que afecta en parámetros como donde se puede añadir o no un pilar al proyecto básico, o hacia donde puede crecer en caso de necesitar más sección.

Lo mismo para las vigas, se ha tenido que tener en cuenta en qué casos se podía utilizar o ampliar el ancho de las vigas o en qué casos no se podía aumentar la sección y había que aumentar el armado para que ésta cumpliera todas las comprobaciones.

En general, se puede decir que la estructura de un edificio no es un elemento con una única solución, existe un abanico de posibilidades que se deben analizar, y se puede seleccionar una u otra teniendo en cuenta los criterios más importantes para caso, los cuales pueden ser el tiempo de obra, el factor económico, el medioambiental,...

En este caso, al tratarse de un Trabajo de Fin de Grado, el objetivo principal era aprender y conocer como se calcula realmente un edificio, todos los parámetros que hay que tener en cuenta y en como se les da solución.

También ha sido importante ver como lo que se aprende en clase en forma de ejercicio se puede llevar a la práctica y tiene una utilidad y es algo que se utiliza en el día a día del trabajo del calculista.

5.2 Relativas a la utilización de CYPE

El uso del programa CYPE requiere de un proceso de aprendizaje largo. Es necesario estar habituado a utilizar el programa, y para ello se requiere práctica con ejemplos y pruebas para ir conociendo todas las opciones existentes. En este caso, se ha tenido la suerte de haber asistido a varios cursos en los que se cubrían las nociones básicas para el manejo del programa.

CYPE, es un programa muy completo, con una gran cantidad de módulos diferentes, aunque en este proyecto únicamente se hayan utilizado el módulo de hormigón, CYPECAD, y el módulo de estructura metálica, CYPE3D.

Es un programa realmente útil que facilita muchísimo el diseño y el dimensionamiento de las estructuras. Es verdad que hay que realizar un predimensionamiento a mano para que los cálculos con el programa no se alarguen en el tiempo, pero realmente hace que el trabajo del calculista sea mucho más sencillo y rápido.

Aún y todo, hay que tener claro que es un programa que exige de conocimientos sobre estructuras y hormigón, ya que todas las decisiones y opciones que permite hay que tomarlas con criterio.

Lo mismo pasa con los resultados, hay que saber interpretar y analizarlos y ver si éstos tienen sentido o son viables en el proyecto.

Hay que saber qué es lo que CYPE está dando y saber qué hacer con ello.

En general, es un programa muy útil y práctico que merece la pena controlar en el caso de que uno se quiera dedicar al cálculo de estructuras.

6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 Normativa

- CTE, Código Técnico de Edificación:
 - DB_SE (Documento Básico de Seguridad Estructural).
 - DB_SE-AE (Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación).
 - DB_SE-C (Documento Básico de Seguridad Estructural, Cimientos).
 - DB_SE-A (Documento Básico de Seguridad Estructural, Acero).
- EAE, Instrucción Española de Acero Estructural, 2011.
- EHE - 08, Instrucción de Hormigón Estructural, 2011.
- EH - 92, Instrucción de Hormigón Estructural, 1991.
- NTE, Cargas gravitatorias, 1988.
- NTP, Escaleras fijas, 1994.
- NTE, Vigas, 1985.

6.2 Recursos de las asignaturas del grado

- Apuntes de la asignatura **Hormigón Armado y Cimentaciones**
- Apuntes de **Teoría de Estructuras**

6.3 Recursos webs

- **Estructurando**, varios artículos:
<http://estructurando.net/>
- **Plataforma Arquitectura**, proyecto de base: Proyecto C-Q / JS^a:
<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624968/proyecto-c-q-jsa>
- **Solo Arquitectura**, foros:
<https://www.soloarquitectura.com/>

6.4 Recursos bibliográficos

- Calavera, J. **Muros de contención y muros de sótano**. ISBN 84-600-7377-7, Intemac, Madrid, 1990.
- Jimenez Montoya, Pedro. **Hormigón Armado**. ISBN 978-84-252-2307-5, Barcelona, 2009.
- Rodriguez Martín, Luís Felipe. **Curso práctico CYPECAD**. ISBN 84-930696-9-8, Mayo 2001.
- Rodriguez Martín, Luís Felipe. **Curso de estructuras metálicas de acero laminado**. ISBN 84-85572-18-1, Madrid, 1983.